

Фізичні особливості та прогнозування якості процесу вирубкування

Виявлено відмінність характеру кривих зміни зусиль вирубкування для різних за опором зрізу матеріалів. Встановлено вигляд кількісної залежності глибини впровадження пуансона в матеріал до виникнення сколюючих тріщин від величини опору зрізу. Отримані математичні моделі глибини впровадження пуансона в матеріал до виникнення сколюючих тріщин і висоти задирки від товщини зразка та двобічного зазору.

вирубкування, криві зміни зусиль, глибина впровадження пуансона до виникнення сколюючих тріщин, висота задирки, математичні моделі

В основних галузях сучасної промисловості питома вага штампованих із листового прокату деталей складає 60 ... 80 %, а при виготовленні товарів широкого вжитку – 95 ... 98 % [1, с. 5]. Для відокремлювання готового виробу від заготовки (відходу) у листовому штампуванні широко використовуються різноманітні розділові операції, зокрема операція вирубкування, при якій відокремлення відбувається за замкнутим контуром.

Загально відомо, що процес вирубкування відбувається в три стадії. На першій стадії спостерігається пружна деформація заготовки; пуансон проводить стиснення металу, внаслідок чого з'являється пружний прогин. Друга стадія характеризується розвитком пластичної деформації та видавлюванням металу в отвір матриці; метал зминається та плине до моменту, коли концентрація напружень досягає опору зрізу. На третій стадії з'являються сколюючі тріщини, а далі відбувається власне розділення металу. В роботі [2], на підставі аналізу кривих залежності зміни зусилля вирубкування P від глибини впровадження пуансона в заготовку h , автор М. Ю. Зубцов виділяє характерні для даного процесу ділянки у відповідності з послідовністю їх виникнення:

- ділянку, що характеризує пружну деформацію (перша стадія);
- ділянку, що характеризує пластичну деформацію, коли зусилля вирубкування досягає максимальної величини (друга стадія);
- ділянку, що характеризує повне руйнування матеріалу (третя стадія);
- ділянку, що характеризує зусилля подолання сил тертя взаємно зміщених частин металу та зусилля вштовхування деталі в отвір матриці. Слід відмітити, що, за результатами дослідження М. Ю. Зубцова, зусилля на цій ділянці змінюється плавно (без коливань) і для м'яких і для твердих матеріалів. В той же час, на наш погляд, слід чекати відмінності в характері кривих $P = f(h)$ для матеріалів в залежності від їх фізико-механічних властивостей, зокрема від опору зрізу σ_z ;
- ділянку, що характеризує зусилля проштовхування деталі крізь отвір в матриці.

Якість вирубкування визначається багатьма факторами, зокрема висотою задирки ΔZ . Вона, як відомо, визначається фізико-механічними властивостями вихідного матеріалу, двобічним зазором Z між пуансоном та матрицею, а також товщиною S заготовки. Однак при розробці технологічних процесів прогнозування висоти задирки в залежності від вказаних вище параметрів є неможливим, в зв'язку з відсутністю її математичної моделі. Аналогічна ситуація склалася в листовому штампуванні і з

висотою блискучого пояска i на поверхні зрізу, що відповідає глибині впровадження пуансона в матеріал до утворення тріщин сколювання.

Для виявлення залежності $i = f(\sigma_3)$ - глибини впровадження пуансона в матеріал зразка до виникнення сколюючих тріщин від опору зрізу σ_3 – треба в процесі експерименту варіювати його опором зрізу. Оскільки, як відомо, неперервне регулювання опором зрізу одного матеріалу (без нагрівання) на сьогоднішній день не уявляється можливим, запропоновано, як методичний прийом, в рамках стандартного експерименту варіювати даним параметром дискретно за рахунок зміни матеріалу. З цією метою: вирубуванню підлягали зразки однакових геометричних параметрів ($d = 15$ мм, $S = 6$ мм); вирубування зразків здійснювали пуансоном одного діаметра ($d_n = 14,45$ мм), що забезпечувало однаковий двобічний зазор $Z = 0,55$ мм; матеріал I зразка – свинець (литво, $\sigma_3 = 51,5$ МПа), матеріал II зразка – алюмінієвий сплав Д12М ($\sigma_3 = 102$ МПа), матеріал III зразка – сталь 45 ($\sigma_3 = 523$ МПа).

На першому етапі, з використанням універсальної випробувальної машини УИП-50, досліджували залежність зусиль вирубування P від глибини h впровадження пуансона для різних матеріалів (рис. 1). Як бачимо, для матеріалів з опором зрізу $\sigma_3 > 51,5$ МПа на ділянці переборювання пуансоном сил тертя взаємно зміщених частин металу та зусилля вштовхування деталі в отвір матриці, спостерігається гармонійне затухаюче коливання зусилля з підвищенням початкової амплітуди в бік збільшення опору зрізу σ_3 . В той же час для більш пластичного матеріалу ($\sigma_3 \leq 51,5$ МПа) коливань зусиль не виявлено.

На другому етапі дослідження, на підставі даних першого, встановлено вигляд кількісної залежності глибини i впровадження пуансона в матеріал зразка до виникнення сколюючих тріщин від величини опору зрізу σ_3 (рис. 2). Як бачимо, ця залежність носить явно виражений нелінійний характер з суттєвим зростанням i в бік зменшення опору зрізу σ_3 .

Методика побудови математичних моделей параметрів процесу вирубування (глибини i впровадження пуансона в матеріал до утворення сколюючих тріщин та висоти задирки ΔZ) включала в себе наступні етапи:

- відбір факторів, що впливають на параметри процесу вирубування, які є об'єктами побудови математичних моделей. На підставі апріорної інформації були відібрані як фактори: двобічний зазор між пуансоном та матрицею Z (X_1), мм; товщина заготовки S (X_2), мм;

- підготовка експериментального штампа, на якому вибрані фактори задовольняють вимогам керованості та операціональності;

- фіксація інших параметрів процесу на наступних рівнях: діаметр заготовки, що вирубується – 15 мм; зовнішній діаметр зразка – 30 мм; матеріал заготовки – свинець ($\sigma_3 = 51,5$ МПа);

- побудова матриці планування експерименту. Вибраний план - 2^2 , що відповідає повному двофакторному експерименту (таблиця 1);

- розрахунок співвідношень між кодовими (x) та натуральними (X) масштабами факторів:

для двобічного зазору

для товщини заготовки

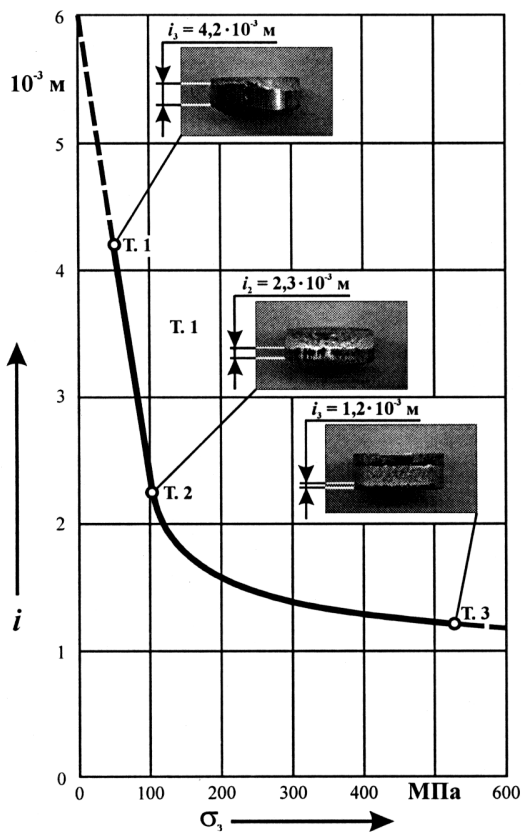
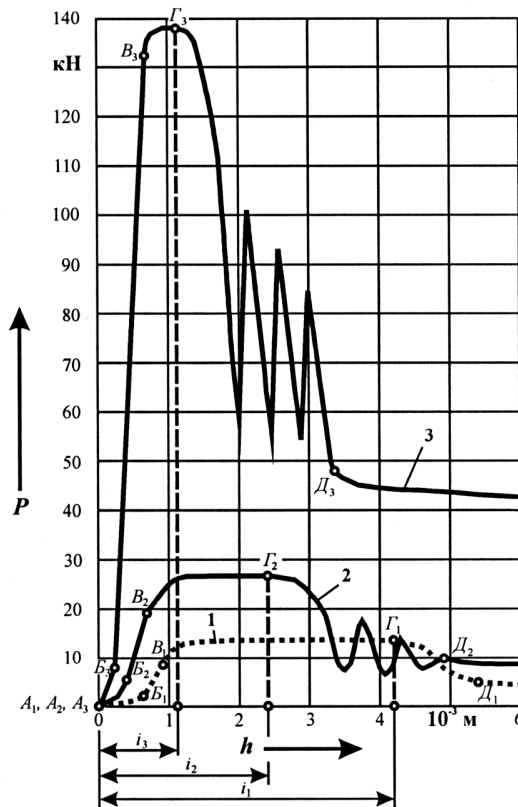
$$x_1 = \frac{X_1 - 0,35}{0,20};$$

$$x_2 = \frac{X_2 - 9}{6}.$$

- побудова лінійної моделі вигляду:

- 1 - свинець (литво, $\sigma_s = 51,5$ МПа);
 2 - алюмінієвий сплав Д12М ($\sigma_s = 102$ МПа);
 3 - сталь 45 ($\sigma_s = 523$ МПа)

Рисунок 1 - Характер зміни зусиль вирубання P в залежності від глибини впровадження h пуансона для різних матеріалів (товщина заготовки $S = 6$ мм = const; величина двобічного технологічного зазору $Z = 0,55$ мм = const)



Матеріали зразків:

- точка 1 - свинець (литво, $\sigma_s = 51,5$ МПа;
- точка 2 - алюмінієвий сплав Д12М ($\sigma_s = 102$ МПа);
- точка 3 - сталь 45 ($\sigma_s = 523$ МПа).

Товщина зразків: $S = 6 \cdot 10^{-3}$ м = const

Рисунок 2 - Залежність глибини i впровадження пуансона в матеріал зразка до виникнення сколюючих тріщин від опору зрізу σ_s

$$y = b_0 + \sum_{i=2}^1 b_i x_i ,$$

де b_0, b_i – коефіцієнти регресії моделі. Відповідно до вибраного плану було проведено чотири досліди, кожен з яких дубльований чотири рази, а для подальшого розрахунку приймалися їх середньоарифметичні значення. Крім того, для оцінки дисперсії досліду виконували чотири досліди в центрі плану. Далі предметом розрахунку були: дисперсія досліду, коефіцієнти регресії, дисперсія оцінок, довірчий інтервал варіювання, а після отримання математичних моделей – перевірка гіпотези про їх адекватність. Розрахунки здійснювалися за рекомендаціями роботи [3].

Таблиця 1 – Матриця планування експерименту (план 2^2)

Фактор				Z, мм	S, мм	Параметри, що досліджуються (функції)									
Основний рівень (X_{i0})				0,35	9	Глибина впровадження пуансона в матеріал до утворення сколюючих тріщин i , мм					Висота задирки ΔZ , мм				
Інтервал варіювання (ΔX_i)				0,20	6										
Верхній рівень ($X_i = +1$)				0,55	15										
Нижній рівень ($X_i = -1$)				0,15	3										
Код				x_1	x_2	y_{11}	y_{12}	y_{13}	y_{14}	y_1	y_{21}	y_{22}	y_{23}	y_{24}	y_2
Номер досліду	1	Порядок реалізації	3	+	+	11,40	7,05	6,00	4,50	7,237	0,07	0,02	0,05	0,03	0,0425
	2		1	+	-	1,43	1,91	1,65	1,8	1,707	0,04	0,03	0,05	0,01	0,0450
	3		2	-	+	7,90	8,50	12,10	11,30	9,95	0,04	0,03	0,03	0,01	0,0275
	4		4	-	-	2,20	2,62	2,65	2,43	2,475	0,07	0,04	0,04	0,02	0,0425
Досліди у центрі плану			1	0	0	5,70	5,65	5,565	5,625	5,65	0,04	0,038	0,04	0,038	0,0390
			2	0	0	5,60	5,675	5,65	5,675	5,65	0,03	0,05	0,05	0,03	0,0400
			3	0	0	4,75	4,65	4,75	4,65	4,70	0,038	0,04	0,04	0,038	0,0390
			4	0	0	5,00	5,05	5,20	5,15	5,10	0,04	0,04	0,03	0,05	0,0400

Отримана математична модель глибини i впровадження пуансона в матеріал до утворення сколюючих тріщин має вигляд:

$$i = 5,342 - 0,870x_1 + 3,251x_2 . \quad (1)$$

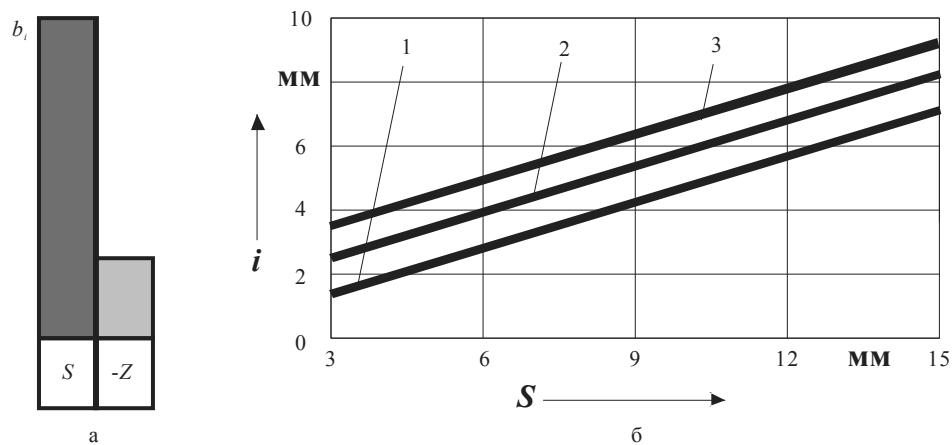
Із аналізу моделі (1) виходить, що найбільший вплив на глибину впровадження пуансона в матеріал до утворення сколюючих тріщин виявляє товщина деталі S (рис. 3, а), із підвищенням якої i збільшується (рис. 3, б). Саме тому треба вважати товщину деталі S головним керуючим фактором. Вплив двобічного зазору – негативний та значно менший, але має істотне значення.

Математична модель висоти задирки ΔZ має наступний вигляд:

$$\Delta Z = 0,0393 + 0,00437x_1 - 0,00437x_2 . \quad (2)$$

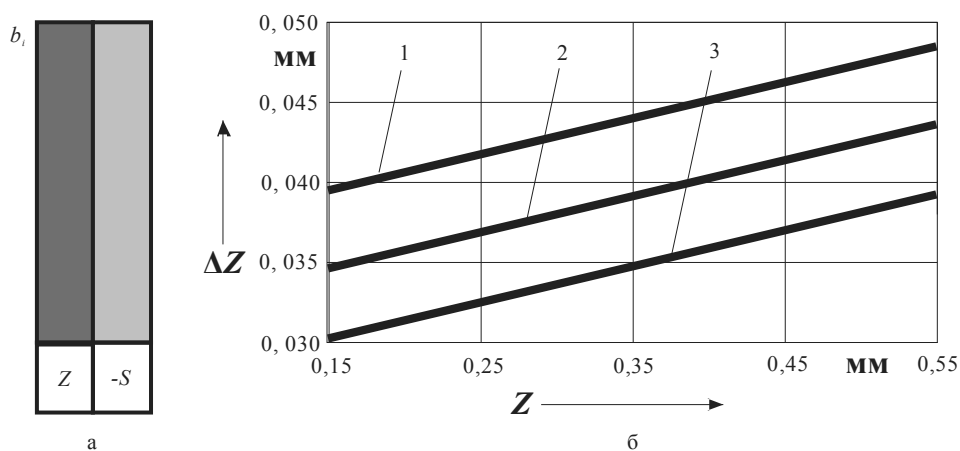
Із аналізу моделі (2) виходить, що ступінь впливу обох факторів (Z та S) на висоту задирки ΔZ однаковий (рис. 4, а). В той же час виявлено (рис. 4, б), що із підвищенням зазору Z висота задирки збільшується, а з підвищенням товщини деталі S – зменшується. Таким чином, кожен із вказаних факторів може виконувати функцію головного керуючого фактора. Але в більшості випадків в умовах реального виробництва товщина матеріалу задана кресленням на деталь, що вирубється. Саме тому за головний керуючий фактор доцільно приймати двобічний зазор.

Виконані експериментальні дослідження розширюють фізичне уявлення про процес вирубання як технологічну операцію холодного листового штампування та дозволяють прогнозувати якість її реалізації.



1 - $Z = 0,55$ мм; 2 - $Z = 0,35$ мм; 3 - $Z = 0,15$ мм

Рисунок 3 - Ступінь впливу факторів (а) та залежність (б) глибини i впровадження пуансона в матеріал до утворення сколюючих тріщин від S та Z



1 - $S = 0,55$ мм; 2 - $S = 0,35$ мм; 3 - $S = 0,15$ мм

Рисунок 4 - Ступінь впливу факторів (а) та залежність (б) висоти задирки ΔZ від S та Z

Список літератури

1. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штампів. Штамп як об'єкт проектування. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс ЛТД», 2005. – 216 с.
2. Зубцов М. Е. Листовая штамповка: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и технология обработки металлов давлением». – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. -432 с., ил.
3. Новик Ф. С., Арсов Я. Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов, 1998.– 217с.

Приведены результаты исследований физических особенностей процесса вырубки.

The article presents the research results of physical features of blanking process.